

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-028849

(43)Date of publication of application : 28.01.2000

(51)Int.Cl.

G02B 6/293

(21)Application number : 11-171611

(71)Applicant : FUJITSU LTD  
AVANEX CORP

(22)Date of filing : 17.06.1999

(72)Inventor : SHIRASAKI MASATAKA  
SIMON KAO

(30)Priority

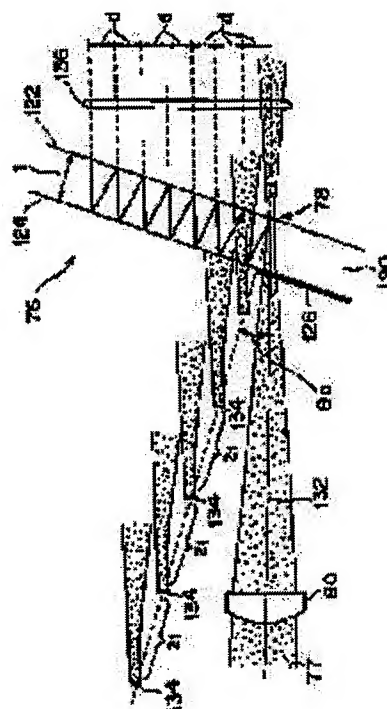
Priority number : 98 114071 Priority date : 13.07.1998 Priority country : US

(54) VIRTUALLY IMAGED PHASED ARRAY (VIPA) HAVING SURFACE OF CHANGING IN REFLECTIVITY IN ORDER TO IMPROVE BEAM PROFILE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable the simultaneous sepn. of plural carriers from wavelength division multiplex light with simple constitution by constituting the array in such a manner that input light is reflected plural times between first and second surfaces and that a plurality of the light passes the array via the second surface.

SOLUTION: The virtually imaged phased array(VIPA) 76 includes a plate 120 made of, for example, glass and has reflection films 122 and 124 thereon. The input light 77 is focused at a focal line 78 by a lens 80 via an irradiation window and multiple reflection is induced between the reflection films 122 and 124. The reflection surface 124 has approximately 100% reflectivity exclusive of the irradiation window and the reflection surface 122 has approximately 95% or higher reflectivity. Then, the reflection surface 122 has approximately 5% or lower transmissivity to allow the transmission of approximately 5% or lower the incident light on the reflection surface 122 and reflects 95% or more of the light. The reflectivities of the reflection surfaces 122 and 124 are easily changeable if the specific application of VIPA is complied.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-28849  
(P2000-28849A)

(43) 公開日 平成12年1月28日 (2000.1.28)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 6/293

識別記号

F I

G 0 2 B 6/28

テーマコード\* (参考)

C

審査請求 未請求 請求項の数35 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平11-171611

(22) 出願日 平成11年6月17日 (1999.6.17)

(31) 優先権主張番号 09/114071

(32) 優先日 平成10年7月13日 (1998.7.13)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(71) 出願人 599084555

アバネックス コーポレーション

Avanex Corporation

アメリカ合衆国, 94538 カリフォルニア  
州, フリーモント, アルブラエ ストリ  
ート 42501番地

(74) 代理人 100074099

弁理士 大曾 義之 (外1名)

最終頁に続く

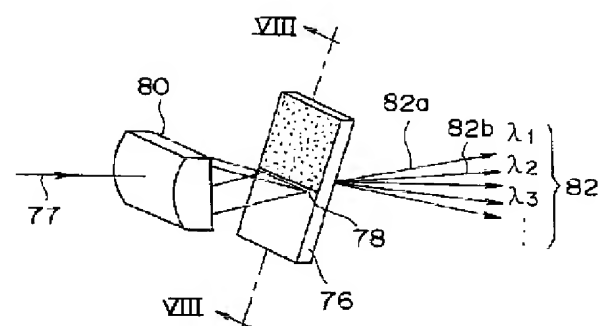
(54) 【発明の名称】 ビームプロファイルを改善するために反射率の変化する面を有するバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ (VIPA)

(57) 【要約】

【課題】簡単な構成で、波長分割多重光から複数のキャリアを同時に分離することのできる波長分波器を提供する。

【解決手段】バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ (VIPA) は、第1と第2の面を備えており、波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対して生成される出力光と空間的に区別可能であるような出力光を生成する。第2の面の反射率は、第2の面に沿って変化し、出力光は、第2の面に沿って、略対称なビームプロファイルのような、所望のビームプロファイルを有するようになる。位相調節バッファレイヤを設けて、第2の面から第1の面に反射される光が第2の面に沿って、均一な光位相を有するようにすることが可能である。更に、位相調節レイヤを設けて、複数の透過光に、第2の面に沿って均一な光位相を与えることが可能である。

本発明の一実施形態に従った、バーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ (VIPA) を示す図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】第1と第2の面を備える装置であって、該第2の面はこれに入射する光の一部を透過させる反射率を有し、該第2の面の該反射率は該第2の面に沿って変化し、

前記装置は、波長の連続範囲内のそれぞれの波長の入力光を受光し、

前記第1と第2の面は、前記入力光が第1と第2の面の間で複数回反射し、前記第2の面を通して複数の光が透過され、透過された複数の光が互いに干渉して、前記波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対して生成された出力光とも空間的に区別可能な出力光を生成するように配置されていることを特徴とする装置。

【請求項2】前記入力光が前記第1と第2の面の間で前記複数回反射されるに従い、該入力光の該第2の面への光入射位置が最初の入射位置から最後の入射位置へと移動し、

前記反射率が、該第2の面に沿って、該最初の入射位置から最後の入射位置へと減少することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】前記入力光が前記第1と第2の面の間で前記複数回反射されるに従い、該入力光の該第2の面への光入射位置が最初の入射位置から最後の入射位置へと移動し、

前記反射率が、該第2の面に沿って、該最初の入射位置から最後の入射位置へと減少し、前記出力光が第2の面に沿って、略対称なビームプロファイルを有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項4】前記入力光が前記第1と第2の面の間で前記複数回反射されるに従い、第2の面による反射は、第2の面から第1の面に進む複数の反射光を規定し、該複数の反射光は、第2の面に沿って、均一な光位相を有していることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項5】前記入力光が前記第1と第2の面の間で前記複数回反射されるに従い、第2の面による反射は、第2の面から第1の面に進む複数の反射光を規定し、前記装置は、前記複数の反射光に第2の面に沿って、均一な光位相を与える手段を更に備えることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項6】前記入力光が前記第1と第2の面の間で前記複数回反射されるに従い、第2の面による反射は、第2の面から第1の面に進む複数の反射光を規定し、前記装置は、前記複数の反射光に第2の面に沿って、均一な光位相を与える位相調節レイヤを更に備えることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項7】前記位相調節レイヤは、第2の面に沿って、第1と第2の面の間に設けられていることを特徴とする請求項6に記載の装置。

【請求項8】前記複数の透過光は前記第2の面に沿って均一な光位相を有していることを特徴とする請求項1に

記載の装置。

【請求項9】前記複数の透過光に、前記第2の面に沿って均一な光位相を与える位相調節レイヤを更に備えることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項10】前記位相調節レイヤは、前記第2の面に沿って、前記第1の面とは反対側に設けられていることを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項11】前記複数の透過光に前記第2の面に沿って均一な光位相を与える手段を更に備えることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項12】前記第1の面は、実質的に100%の反射率を有していることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項13】前記入力光は、波長の連続範囲内の異なる波長をそれぞれ有する少なくとも2つのキャリアからなる波長分割多重光であり、前記複数の透過光は、互いに干渉し、該入力光のそれぞれのキャリアに対する各出力光を生成し、それぞれの出力光は他の出力光と空間的に区別可能であることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項14】前記入力光は、前記第1と第2の面の間の線に集光され、該第1及び第2の面の間で、複数回反射されることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項15】前記第2の面の反射率は該第2の面に沿って変化し、前記出力光は、

該第2の面に沿って略対称なビームプロファイル、該第2の面に沿って略ベル状のカーブのビームプロファイル、

該第2の面に沿って略ガウシアン型のビームプロファイル、

該第2の面に沿って非対称のビームプロファイル、及び該第2の面に沿って双こぶ形状のビームプロファイルからなるグループの一つであるビームプロファイルを有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項16】前記出力光を前記第2の面に返送し、これに透過させ、該返送された出力光に前記第1及び第2の面の間で多重反射を起こさせるような光返送装置を更に備えることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項17】前記光返送装置は鏡であることを特徴とする請求項16に記載の装置。

【請求項18】前記光返送装置は、鏡と、前記出力光を該鏡上に集光し、該鏡で反射された出力光を前記第2の面へ導くレンズと、を備えることを特徴とする請求項16に記載の装置。

【請求項19】前記装置が前記入力光を受光し、前記返送された出力光が、前記第1と第2の面の間で多重反射を起こした後、該装置から出力されるウィンドウを更に備えていることを特徴とする請求項16に記載の装置。

【請求項20】第1と第2の面を備え、該第2の面はこ

れに入射する光の一部を透過させる反射率を有し、該第2の面の該反射率は該第2の面に沿って変化し、それぞれの波長の入力光は、線に集光され、該第1及び第2の面は、該入力光が該線から放射され、該第1と第2の面の間で複数回反射され、従って、複数の光が該第2の面を介して透過され、該透過された複数の光は互いに干渉して、他の波長の入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成するように配置されていることを特徴とする装置。

【請求項21】前記入力光が、前記第1及び第2の面の間で前記複数回反射されるに従い、該第2の面上への、該入力光の光入射位置が最初の入射位置から最後の入射位置へと移動し、前記反射率は、該最初の入射位置から該最後の入射位置へと、該第2の面に沿って減少することを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項22】前記入力光が、前記第1及び第2の面の間で前記複数回反射されるに従い、該第2の面上への、該入力光の光入射位置が最初の入射位置から最後の入射位置へと移動し、前記反射率は、該最初の入射位置から該最後の入射位置へと、該第2の面に沿って減少し、前記出力光は、該第2の面に沿って略対称なビームプロファイルを有していることを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項23】前記入力光が、前記第1及び第2の面の間で前記複数回反射されるに従い、該第2の面による反射は、該第2の面から該第1の面へ進む複数の反射光を規定し、前記装置は、該複数の反射光に、該第2の面に沿って均一な光位相を与える位相調節レイヤを更に備えていることを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項24】前記位相調節レイヤは、前記第2の面に沿って、前記第1と第2の面の間に設けられていることを特徴とする請求項23に記載の装置。

【請求項25】前記複数の透過光は、前記第2の面に沿って均一な光位相を有していることを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項26】前記複数の透過光に、前記第2の面に沿って均一な光位相を与える位相調節レイヤを更に備えることを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項27】前記位相調節レイヤは、前記第2の面に沿って、前記第1の面と反対側に設けられていることを特徴とする請求項26に記載の装置。

【請求項28】前記第1の面は、実質的に100%の反射率を有することを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項29】前記第2の面の反射率は、前記第2の面に沿って変化し、前記出力光は、該第2の面に沿って略対称なビームプロファイル、該第2の面に沿って略ベル状のカーブのビームプロファ

イル、該第2の面に沿って略ガウシアン型のビームプロファイル、該第2の面に沿って非対称のビームプロファイル、及び該第2の面に沿って双こぶ形状のビームプロファイルからなるグループの一つのビームプロファイルを有することを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項30】前記出力光を前記第2の面に返送し、これに透過させ、返送された光に、前記第1の面及び該第2の面の間で多重反射を起こさせるような光返送装置を更に備えることを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項31】前記光返送装置は、鏡であることを特徴とする請求項30に記載の装置。

【請求項32】前記光返送装置は、鏡と、前記出力光を該鏡上に集光し、該鏡で反射された出力光を前記第2の面へ導くレンズと、を備えることを特徴とする請求項30に記載の装置。

【請求項33】第1と第2の面を備え、該第2の面はこれに入射する光の一部を透過させる反射率を有し、それぞれの波長の入力光は、線に集光され、該第1及び第2の面は、該入力光が該線から放射され、該第1と第2の面の間で複数回反射され、従って、複数の光が該第2の面を介して透過され、該透過された複数の光は互いに干渉して、他の波長の入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成するように配置され、

前記第2の面の反射率は、前記第2の面に沿って変化し、前記出力光は、該第2の面に沿って略対称なビームプロファイル、該第2の面に沿って略ベル状のカーブのビームプロファイル、該第2の面に沿って略ガウシアン型のビームプロファイル、該第2の面に沿って非対称のビームプロファイル、及び該第2の面に沿って双こぶ形状のビームプロファイルからなるグループの一つのビームプロファイルを有することを特徴とする装置。

【請求項34】前記出力光を前記第2の面に返送し、これに透過させ、返送された光に、前記第1の面及び該第2の面の間で多重反射を起こさせるような光返送装置を更に備えることを特徴とする請求項33に記載の装置。

【請求項35】前記光返送装置は、鏡であることを特徴とする請求項34に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ (VIPA: virtually imaged phased array)、すなわち、複数のキャリアからなる波長分割多重光を受光し、波長分割多重光を複数

のキャリアにそれぞれ対応し、互いに空間的に区別可能な複数の光束に分波する波長分波器に関する。

#### 【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】波長分割多重は、高速で、比較的多量のデータを伝送するために、光ファイバ通信において使用されている。より詳しくは、それぞれ情報で変調された複数のキャリアは、合波されて波長多重光にされる。波長分割多重光は、それから、1つの光ファイバを介して受信器に送信される。受信器は、波長分割多重光を各キャリアに分波し、各キャリアを検波する。このように、通信システムは、光ファイバを用いて、比較的多量のデータを伝送することができる。

【0003】従って、受信器が波長分割多重光を正確に分波する能力は通信システムの性能に大きく影響する。例えば、たとえ、多くのキャリアを合波して波長分割多重光にできたとしても、そのような波長分割多重光は、受信器が正確に波長分割多重光を分波できないのであれば、送信されるべきではない。従って、受信器は高精度の波長分波器を有していることが望まれる。

【0004】図1は、波長分波器として使用するための、多層干渉膜を用いた従来のフィルタを示す図である。図1によれば、多層干渉膜20は、透明な基板22上に形成される。光24は、これは平行光でなくてはならないが、フィルム20上に入射し、それから、繰り返しフィルム20内で反射される。フィルム20の特性によって決定される光学的条件によって、波長 $\lambda_2$ の光26のみが透過することができる。光28は、これは光学的条件を満たさない全ての光を含んでいるが、フィルム20を透過せず、反射される。従って、図1に示されているフィルタは、異なる波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つのキャリアのみを含んでいる波長分割多重光を分波するのに有用である。しかし、このようなフィルタ、それ自体は、2より多くのキャリアを有している波長分割多重光を分波することはできない。

【0005】図2は、波長分波器として使用する従来のファブリ・ペロー干渉計を示す図である。図2によれば、高反射率反射膜30と32は、互いに平行である。光34は、これは平行光でなくてはならないが、反射膜30上に入射し、反射膜30と32の間で多数回反射される。ファブリ・ペロー干渉計の特性によって決定される透過条件を満たす波長 $\lambda_2$ の光36は、反射膜32を透過する。透過条件を満たさない波長 $\lambda_1$ の光38は、反射される。このように、2つの異なる波長を有する光は、2つの異なる波長にそれぞれ対応する2つの異なる光に分波される。このように、図1に示されたフィルタのように、従来のファブリ・ペロー干渉計は、異なる波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つのキャリアのみを含む波長分割多重光を分波するのに有用である。しかし、このようなファブリ・ペロー干渉計は、2より多くのキャリアを有す

る波長分割多重光を分波することはできない。

【0006】図3は、波長分波器として使用する従来のマイケルソン干渉計を示す図である。図3によれば、平行光40は、ハーフミラー42に入射し、互いに垂直な第1の光44と第2の光46に分波される。反射ミラー48は、第1の光44を反射し、反射ミラー50は、第2の光46を反射する。ハーフミラー42と反射ミラー48との距離と、ハーフミラー42と反射ミラー50との距離は光路差を示している。反射ミラー48によって反射される光は、ハーフミラー42に返され、反射ミラー50によって反射され、ハーフミラー42に返される光と干渉する。結果として、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ を有する光52と54は、互いに分離される。図1のフィルタや、図2のファブリ・ペロー干渉計のように、図3のマイケルソン干渉計は、異なる波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つのキャリアのみを含む波長分割多重光を分波するのに有用である。しかし、このようなマイケルソン干渉計は、2より多くのキャリアを有する波長分割多重光を分波することはできない。

【0007】いくつかのフィルタ、ファブリ・ペロー干渉計、あるいは、マイケルソン干渉計を組み合わせて大きなアレイにし、更なる波長キャリアを1つの波長分割多重光から分離できるようにすることは可能である。しかし、このようなアレイは高価で、非効率的であり、思わぬ程大きな受信器を構成することになってしまう。

【0008】回折格子や、導波路アレイ格子は、2以上の異なる波長キャリアからなる波長分割多重光を分波するのに、しばしば使用される。図4は、波長分割多重光を分波するための従来の回折格子を示す図である。図4によれば、回折格子56は凹凸面58を有している。複数の異なる波長キャリアを有する平行光60は凹凸面58に入射する。各波長キャリアは、反射され、格子の異なるステップからの反射光間で干渉する。結果として、異なる波長のキャリア62、64及び66は回折格子56から異なる角度で出力され、互いに分離される。

【0009】しかし、回折格子は、異なる波長のキャリアを相対的に小さいな角度差で出力する。従って、回折格子によって作り出される角分散は非常に小さいものとなる。結果として、受信器が、回折格子によって分波された様々なキャリア信号を正確に受光する事が困難となる。この問題は、比較的接近した波長を持つ多数のキャリアを有する波長分割多重光を分波する回折格子において特に重大である。

【0010】更に、回折格子は、入射光の光偏波によって影響を受ける。それゆえ、入射光の偏波が、回折格子の性能に影響を与える。また、回折格子の凹凸面のために、精度の良い回折格子を製造するためには複雑な製造工程が必要となる。

【0011】図5は、波長分割多重光を分波するための従来の導波路アレイ格子を示す図である。図5によれば

ば、複数の異なる波長キャリアからなる光は、入力口68を介して受光され、多数の導波路70に分岐される。光出力口72は、各導波路70の端にあり、出力光74を生成するようになっている。導波路70は、互いに長さが異なり、従って、異なる長さの光路を設けている。従って、導波路70を通過する光は、互いに異なるパス長を有し、従って、出力口72を通過して互いに干渉し、異なる波長に対し異なる方向に出力74を形成する。

【0012】導波路アレイ格子においては、角分散は、適当に導波路を構成することにより、ある程度調整することができる。しかし、導波路アレイ格子は、温度変化と他の環境要因によって影響を受ける。従って、温度変化と環境要因によって、適切に性能を調節することが難しくなる。

【0013】従って、本発明の課題は、簡単な構成で、波長分割多重光から複数のキャリアを同時に分離することのできる波長分波器を提供することである。本発明の更なる課題は、分離されたキャリアを比較的大きな角分散で拡散し、環境条件の変化に耐性があり、望ましいビームプロファイル、その内の1つは光ファイバへの有効な結合のために対称なビームプロファイル、を有する結果としての光束を生成する波長分波器を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の課題は、第1と第2の面を有する装置を提供することによって達成される。第2の面は、入射した光の一部が透過するような反射率を有している。装置は、波長の連続範囲内のそれぞれの波長の入力光を受光する。第1及び第2の面は、入力光が第1と第2の面の間で複数回反射され、複数の光が第2の面を介して透過するように配置されている。複数の透過光は互いに干渉し、波長の連続範囲内の他のいかなる波長を有する入力光に対して生成される出力光と空間的に区別可能な出力光を生成する。第2の面の反射率は、第2の面に沿って変化し、出力光は第2の面に沿って望ましいビームプロファイルを有するようになる。位相調節バッファレイヤは、第2の面から第1の面に反射される光が、第2の面に沿って均一な光位相を有するようにするために設けることが可能である。更に、位相調節レイヤは、複数の透過光に第2の面に沿って均一な光位相を持たせるために設けることが可能である。

【0015】本発明の課題は、また、第2の面が入射した光の一部を透過させるような反射率を有するような、第1と第2の面を含む装置を提供することによっても達成することができる。装置は、線に集光される、各波長の入力光を受光する。第1と第2の面は、入力光が線から放射されて、第1と第2の面の間で複数回反射され、従って、複数の光が第2の面を介して透過するように配置されている。複数の透過光は互いに干渉し、異なる波

長の入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光を生成する。第2の面の反射率は、第2の面に沿って変化し、出力光は第2の面に沿って望ましいビームプロファイルを有するようになる。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明の本好適実施形態について、ここに詳細に述べる。これらの例は、添付の図面に図示されている。同様な参照符号は、全体を通して、同様な構成要素に付する。

【0017】図6は、本発明の一実施形態に従った、バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ(VIPA)を示す図である。更に、以後、「波長分波器」、「バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ」及び「VIPA」の用語は、本発明の様々な実施形態を記述するために、相互に入れ替えて使用可能とする。

【0018】図6において、VIPA76は、好ましくは、ガラスの薄いプレートで構成される。入力光77は、半円筒レンズのようなレンズ80によって線78に集光され、入力光77はVIPA76内に進む。線78は、以後、「焦点線78」と呼ぶ。入力光77は、VIPA76内部の焦点線78から放射状に伝搬する。VIPA76は、次に、コリメート光の光束82を出力する。ここで、光束82の出力角度は入力光77の波長が変化するに従い変化する。例えば、入力光77が波長 $\lambda_1$ である場合、VIPA76は、波長 $\lambda_1$ の光束82aを特定の方向に出力する。入力光77が波長 $\lambda_2$ の場合、VIPA76は、波長 $\lambda_2$ の光束82bを異なる方向に出力する。従って、VIPA76は、互いに空間的に区別可能な光束82aと82bを生成する。入力光77が波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の両方を含んでいる場合には、VIPA76は、光束82aと82bの両方を同時に出力する。

【0019】図7は、本発明の一実施形態に従った、VIPA76を詳細に示す図である。図7によれば、VIPA76は、例えば、ガラスでできたプレート120を含み、その上に反射膜122と124を有している。反射膜122は、好ましくは、略95%からそれ以上で、100%より小さい反射率を有している。反射膜124は、好ましくは、略100%の反射率を有している。照射ウィンドウ126は、プレート120上に形成されており、好ましくは、略0%の反射率を有している。

【0020】入力光77は、照射ウィンドウを介して、レンズ80により焦点線78に集光され、反射膜122と124の間で多重反射を起こす。焦点線78は、好ましくは、反射膜122が形成されているプレート120の面上である。焦点線78は、本質的には、照射ウィンドウ126を介して反射膜122上に集光された線である。焦点線78の幅は、レンズ80によって集光された場合の入力光77の「ビームウエスト」と呼ぶことができる。従って、図7に示された本発明の実施形態は、入

力光77のビームウエストをプレート120の遠い方の面(すなわち、その上に反射膜122を有している面)に集光する。ビームウエストをプレート120の遠い方の面に集光することによって、本発明の本実施形態では、(i)照射ウィンドウ126を通過する時の入力光77の領域(例えば、以下により詳細に述べる、図10に示された領域「a」)と、(ii)入力光77が反射膜124によって最初に反射されたときの反射膜124上の光の領域(例えば、以下により詳細に述べる、図10に示された領域「b」)との間で重なりが生じる可能性を減少させる。VIPAの適切な動作を保証するため、このような重なりを減少させることが望ましい。

【0021】図7において、入力光77の光軸132は、小さな傾き角 $\theta_0$ を有している。反射膜122の反射率を95%と仮定すると、反射膜122の最初の反射において、光の5%が反射膜122を通過し、ビームウエストの後拡散し、光の95%が反射膜124に向かって反射される。反射膜124によって最初に反射された後、光は、再び反射膜122に当たるが、dという量だけずれている。そして、光の5%が反射膜122を透過する。同様にして、図7に示されるように、光は、一定の間隔d離れた多くのパスに分岐される。各パスのビームの形状は、光がビームウエストの虚像134から拡散するように形成される。虚像134は、プレート120に垂直な線に沿って一定の間隔2tで配置されている。ここで、tはプレート120の厚さである。虚像134におけるビームウエストの位置は、自然に配置されるものであり、それぞれの位置を調節する必要はない。虚像134から拡散する光は互いに干渉し、入力光77の波長に従って変化する方向に伝搬するコリメート光136を形成する。

【0022】光路の間隔は $d = 2t \sin \theta_0$ であり、隣接するビーム間のパス長の差は、 $2t \cos \theta_0$ である。角分散はこれらの2つの数の割合に比例しており、この比は、 $\cot \theta_0$ である。結果として、VIPAは、かなり大きな角分散を生成する。

【0023】図7から容易に分かるように、「virtually imaged phased array」という用語は、虚像134の配列の形成に由来するものである。図8は、本発明の実施形態に従った、図6に示されるVIPA76の線VII-VIIIに沿った断面を示す図である。図8によれば、プレート120は、その上に反射面122と124を有している。反射面122と124は、互いに平行で、プレート120の厚さtによって隔離されている。反射面122と124は、典型的には、プレート120上に形成された反射膜である。前述したように、反射面124は、照射ウィンドウを除いて、略100%の反射率を有しており、反射面122は、略95%かそれ以上の反射率を有している。従って、反射面122は、略5%かそれ以下の透過率を有しており、反射面122への入射光

の略5%かそれ以下を透過させ、光の95%かそれ以上が反射される。反射面122と124の反射率は、VIPAの特別な応用に従えば、容易に変更可能である。しかし、一般的に、反射面122は、入射光の一部を透過させるため、100%より小さい反射率を有するべきである。

【0024】反射面124は、その上に照射ウィンドウ126を有している。照射ウィンドウ126は、光を透過させ、好ましくは、全く反射能を持たないか、あるいは、非常に低い反射率を有している。照射ウィンドウ126は、入力光77を受光し、入力光77を反射面122と124の間で受光させ、反射させる。

【0025】図8は、図6の線VII-VIIIに沿った断面を示すので、図6の焦点線78は、図8においては、「点」として現れている。入力光77は、それから、焦点線78から放射状に伝搬する。更に、図8に示されているように、焦点線78は、反射面122に配置されている。焦点線78が反射面122上にあることは必要ではないが、焦点線78の位置の移動はVIPA76の特性にわずかな変化をもたらす。

【0026】図8に示されているように、入力光77は、照射ウィンドウ126の領域A0を介してプレート120に入射する。ここで、点P0は領域A0の周囲の点を示している。

【0027】反射面122の反射率により、入力光77の略95%かそれ以上が反射面122によって反射され、反射面124の領域A1上に入射する。反射面124の領域A1から反射した後、入力光77は、反射面122に進み、一部が、光線R1で規定される出力光Out1として反射面122を透過する。このように、図8に示されているように、入力光77は、反射面122と124の間で多重反射を起こす。ここで、反射面122からのそれぞれの反射は、また、透過されるそれぞれの出力光となる。従って、例えば、入力光77は、領域A2、A3、及びA4で反射され、出力光Out2、Out3、及び、Out4を生成する。点P2は領域A2の周囲の点を示し、点P3は、領域A3の周囲の点を示し、点P4は領域A4の周囲の点を示している。出力光Out2は、光線R2によって規定され、出力光Out3は、光線R3によって規定され、出力光Out4は光線R4によって規定される。図8は、出力光Out0、Out1、Out2、Out3及びOut4のみを図示しているが、実際には入力光77のパワーと反射面122と124の反射率により、もっと多くの出力光が存在する。以下により詳細に述べるように、出力光は、互いに干渉し、入力光77の波長に従い変化する方向を有する光束を生成する。

【0028】図9は、本発明の一実施形態に従う、VIPAによって生成される干渉を示す図である。図9によれば、焦点線78から進む光は反射面124によって反



射される。前述したように、反射面124は略100%の反射率を有しており、従って、本質的に鏡として機能する。結果として、出力光Out1は、反射面122と124が無く、出力光Out1が焦点線I<sub>1</sub>から放出されたように、光学的に分析することができる。同様に、出力光Out2、Out3及びOut4は、これらが、焦点線I<sub>2</sub>、I<sub>3</sub>、及び、I<sub>4</sub>からそれぞれ放出されたように光学的に分析することができる。焦点線I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>、I<sub>3</sub>、及び、I<sub>4</sub>は、焦点線I<sub>0</sub>の虚像である。

【0029】従って、図9に示されているように、焦点線I<sub>1</sub>は、焦点線I<sub>0</sub>から距離2tのところにある。ここで、tは、反射面122と124の間の距離に等しい。同様に、それぞれの後続の焦点線は、直前の焦点線から距離2tのところにある。このように、焦点線I<sub>2</sub>は、焦点線I<sub>1</sub>から距離2tのところにある。更に、反射面122と124の間のそれぞれの後続の多重反射は、前の出力光より強度が小さい出力光を生成する。従って、出力光Out2は出力光Out1よりも強度が小さい。

【0030】図9に示されているように、焦点線からの出力光は、互いに重なり、干渉する。この干渉は、入力光77の波長に依存した特定の方向に進む光束を生成する。本発明の上記実施形態に従ったVIPAは、VIPAの設計上の特性である強め合いの条件を有している。強め合いの条件は、出力光の干渉を増加し、光束が形成されるようにする。VIPAの強め合いの条件は以下の式(1)によって表される。

$$【0031】 2t \times \cos \theta = m\lambda$$

ここで、 $\theta$ は反射面122と124の面に垂直な線から計った、形成された光束の伝搬方向である。 $\lambda$ は、入力光の波長を示し、tは、反射面122と124の間の距離を示し、mは整数を示す。

【0032】従って、tが定数で、mに特定の値が与えられたなら、波長 $\lambda$ の入力光に対して形成される光束の伝搬方向 $\theta$ を決定することができる。更に詳しくは、入力光77は、特定の角度で、焦点線78から放射状に拡散する。従って、同じ波長の入力光は、焦点線78から多くの異なった方向に進み、反射面122と124の間で反射される。VIPAの強め合いの条件は特定の方向に進む光が、出力光の干渉を介して強め合い、入力光の波長に対応した方向を有する光束を形成する。強め合いの条件によって要求される特定の方向とは異なった方向に進む光は出力光の干渉によって弱められる。

【0033】図10は、本発明の実施形態に従った、入力光の入射角度、あるいは、傾き角を決定するためのVIPAの特性を示す、図6に図示されたVIPAの線VII-VIIIに沿った断面を示す図である。

【0034】図10を参照すると、入力光77は、円筒レンズ(不図示)によって集光され、焦点線78に収束される。図10のように、入力光77は、照射ウィンド

ウ126上の「a」に等しい幅を持つ領域をカバーする。入力光77が反射面122から1回反射された後、入力光77は、反射面124上に入射し、反射面124上の「b」に等しい幅の領域をカバーする。更に、図10に示されているように、入力光77は、反射面122の垂線に対して、傾き角 $\theta_0$ の光軸132に沿って進む。

【0035】傾き角 $\theta_0$ は、反射面122によって最初に反射された後、入力光77が、照射ウィンドウ126から進み出てしまわないように設定されるべきである。言い換えれば、傾き角 $\theta_0$ は、入力光77が反射面122と124の間に「捕獲」され、照射ウィンドウ126から逃げ出さないように設定されるべきである。従って、入力光77が照射ウィンドウ126から進み出てしまわないためには、傾き角 $\theta_0$ は、以下の式(2)に従って設定されるべきである。

$$【0036】 \text{光軸の傾き} \theta_0 \geq (a+b)/4t$$

(a+b)の項は、a=bの時最小となる。これは、焦点線78が反射面122上に位置している状況である。

【0037】従って、図6~10に示されているように、本発明の実施形態は、波長の連続範囲内のそれぞれの波長を有する入力光を受光するVIPAを含む。VIPAは入力光の多重反射によって、自己干渉を起こさせ、出力光を形成させる。出力光は、波長の連続範囲内の他のいかなる波長の入力光に対して形成された出力光と空間的に区別可能である。例えば、図8は、反射面122と124の間で多重反射を起こす入力光を図示している。この多重反射は、入力光77の各波長に対して、空間的に区別可能な光束を生成するように、互いに干渉する複数の出力光Out0、Out1、Out2、Out3、及び、Out4を生成する。

【0038】「自己干渉」は、同じ光源からの複数の光あるいはビーム間に生じる干渉を示す用語である。従って、出力光Out0、Out1、Out2、Out3及びOut4は全て同じ光源(すなわち、入力光77)から来ているので、出力光Out0、Out1、Out2、Out3、及び、Out4の干渉は、入力光77の自己干渉と呼ばれる。

【0039】本発明の上記実施形態によれば、入力光は波長の連続範囲内のいかなる波長であっても良い。よって、入力光は離散的な値の範囲から選択された値を有する波長に限定されるものではない。

【0040】更に、本発明の上記実施形態によれば、波長の連続範囲内の特定の波長の入力光に対して生成された出力光は、入力光が波長の連続範囲内の異なる波長であった場合に生成される出力光と空間的に区別可能である。従って、例えば、図6に示されているように、光束82の進行方向(すなわち、「空間的特性」)は、入力光77が波長の連続範囲内の異なる波長である場合、異なってくる。更に、例えば、図6を参照すると、入力光

77が3つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 及び $\lambda_3$ 全てを含んでいる場合、光束82a、82b、及び82cは、同時に生成され、異なる方向に進む。

【0041】本発明の上記実施形態によれば、焦点線は入力光が入力する平行板の反対側の面上にあるように記載されている。しかし、焦点線は、例えば、平行板内、照射ウィンドウの面上、あるいは、照射ウィンドウの手前とすることも可能である。

【0042】本発明の上記実施形態によれば、2つの反射膜は、その間で光を反射し、一つの反射膜の反射率は略100%である。しかし、同様の効果は、100%より小さい反射率をそれぞれ有する2つの反射膜によっても得ることができる。例えば、両反射膜は、95%の反射率を有することができる。この場合、それぞれの反射膜は、光を透過させ、干渉を起こさせる。結果として、波長に依存した方向に進む光束は、反射膜が形成された平行板の両側に形成される。よって、本発明の多様な実施形態の多様な反射率は、VIPAの必要な特性に従って容易に変更可能である。

【0043】本発明の上記実施形態によれば、導波路装置は、平行板によって形成される、あるいは、互いに平行な2つの反射面によって形成されるとして記載されている。しかし、該板あるいは、反射面は必ずしも平行である必要はない。

【0044】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、多重反射を使用し、干渉する光間の一定の位相差を保持する。結果として、VIPAの特性は安定で、結果、偏波による光学的特性の変化を削減する。これに対し、従来の回折格子の光学的特性は、入力光の偏波に依存して望ましくない変化を受ける。

【0045】本発明の上記実施形態は、互いに「空間的に区別可能」な光束を提供するものとして記載した。

「空間的に区別可能」とは、空間において区別可能な光束のことを述べている。例えば、コリメートされ、異なる方向に進む、あるいは、異なる地点に集光されるならば、さまざまな光束は空間的に区別可能である。しかし、本発明は、これらの詳細な例に限定されるものではなく、光束を互いに空間的に区別可能とする他の方法も存在する。

【0046】図11は、本発明の一実施形態に従った、受信器と共に用いられるVIPAを示す図である。図11によれば、多層反射膜96と98は、例えば、100 $\mu\text{m}$ の厚さ $t$ を有するガラスでできた平行板100の両側に設けられている。平行板100は、20~2000 $\mu\text{m}$ の範囲の厚さを有していることが望ましい。反射膜96と98は好ましくは、多層高反射率干渉膜である。

【0047】反射膜98の反射率は、略100%であり、反射膜96の反射率は略95%である。しかし、反射膜96の反射率は95%には限定されず、反射膜96と98の間で多重反射が起こるように、反射膜96から

十分な光が反射されるならば、異なった値でもよい。好ましくは、反射膜96の反射率は、80%から100%より小さい数パーセントの範囲である。更に、反射膜98の反射率は100%に限定されないが、反射膜96と98の間で多重反射を起こさせる程度に充分高い必要がある。

【0048】照射ウィンドウ102は、入力光を受光し、平行板100の反射膜96と同じ面上に配置されている。照射ウィンドウ102は、平行板100の面上に略0%の反射率を有する膜によって形成されている。図11に示されるように、照射ウィンドウ102と反射膜96の間の境界は、好ましくは、直線である。

【0049】入力光は、例えば、光ファイバ（不図示）から出力され、コリメートレンズ106によって受光される。コリメートレンズ106は入力光を、円筒レンズ108によって受光される平行ビームに変換する。円筒レンズ108は、平行ビーム104を照射ウィンドウ102上の焦点線110に集光する。焦点線110は反射膜96と照射ウィンドウ102間の直線の境界の近くに、平行に配置される。このように、入力光は照射ウィンドウ102を介して平行板100に入力される。

【0050】入力光102の光軸は、反射膜96の垂線に対して傾き角を有しており、入力光が、平行板100に入った後、照射ウィンドウ102から逃げないようにしている。従って、傾き角は、上記式(2)に従って設定される。

【0051】一旦、入力光が平行板100内に入ると、（例えば、図8に示されるように）反射膜96と98の間で多重反射を起こす。入力光が反射膜96に入射する度に、光の略95%は、反射膜98に向かって反射され、光の略5%が反射膜96を透過して、出力光を形成する（例えば、図8に示されるような出力光Out1）。反射膜96と98間の多重反射によって、複数の出力光が形成される。複数の出力光は、互いに干渉し、入力光の波長に依存する伝搬方向に光束を形成する。

【0052】光束112は、光束を収束点に収束するレンズ114によって集光される。収束点は、入力光の異なる波長に対し、直線パス116に沿って移動する。例えば、入力光の波長が増加するに従い、収束点は、直線パス116に沿って更に遠くに移動する。複数の受信器118は、集光された光束112を受光するため、直線パス116上に配置されている。従って、各受信器118は、特定の波長に対応する光束を受信するように配置されている。

【0053】VIPAの反射膜あるいは反射面間の距離 $t$ を制御することにより、反射膜あるいは反射面間で反射される光の位相差を所定の量だけシフトすることができ、従って、優れた環境耐性を実現することができる。更に、本発明の上記実施形態は、光学的偏波に依存する光学的特性に関し、わずかな変化しか起こさない。

【0054】図12は、本発明の別の実施形態に従った、受信器と共に用いるVIPAを示す図である。図12に記載されたVIPAは、反射膜96と98の反射率が入れ替えられている他は、図11に記載されたVIPAと同様である。より詳しくは、図12に記載されたVIPAにおいては、反射膜98は、略95%の反射率を有し、反射膜96は、略100%の反射率を有している。図12に示すように、光束112は、反射膜98を介して透過する出力光の干渉によって形成される。従って、入力光は、平行板100の片側から入射し、光束112は、平行板100の反対側に形成される。その他は、図12に記載のVIPAは、図11に記載のVIPAと同様に動作する。

【0055】図13は、本発明の一実施形態に従った、導波路型VIPAを示す図である。図13によると、光138は、光ファイバ（不図示）から出力され、基板142に設けられた導波路140によって受光される。導波路140は、例えば、ニオブ酸リチウムである。光138は、異なる波長を有する複数のキャリア上に変調された光信号を含んでいる。

【0056】光138は、典型的には、光ファイバから出力されるときに、拡散された幅を有している。従って、コリメートレンズ142は、光138を平行光に変換する。平行光は、次に、円筒レンズ144によって集光され、焦点線146に収束される。光は、そして、照射ウィンドウ150を介して、焦点線146からVIPA148の中に放射される。

【0057】VIPA148は、平行板156上に反射膜152と154を備えている。反射膜154は、平行板156の片側にあり、反射膜152と照射ウィンドウ150は、平行板156の他の側にある。反射膜152は、略100%の反射率を有し、反射膜154は、100%よりも小さい反射率を有している。平行板156によって反射される光の光束158は、平行板156の照射ウィンドウ150とは反対側に出力される。

【0058】入力光138が複数の波長を含んでいる場合には、入力光138の波長に依存した異なる方向に進む、複数の光束158が形成される。VIPA148によって形成される光束158は、レンズ160によって、光束158の伝搬方向に依存した、異なる点に集光される。従って、図13に示されるように、それぞれ、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、及び $\lambda_3$ を有する光束158a、158b、及び158cは、異なる集光点に形成される。

【0059】複数の受光導波路162が、集光点に設けられる。各受光導波路162は、光信号と単一の波長を有する対応するキャリアを導く。従って、複数の光束は、同時に受光され、さまざまなチャネルを介して送出される。各受光導波路162は、後段に設けられる対応する受信器（不図示）を有している。受信器は、典型的には、光ダイオードである。従って、各受光導波路16

2によって導かれる光は、対応する受信器によって受信された後、処理される。

【0060】しかし、本発明の上記実施形態によるVIPAによれば、得られた光束のビームプロファイルは、最適なビームプロファイルとなっていない。例えば、図14(A)は、図7のVIPA76の動作を示す図であり、図14(B)は、VIPAのビームプロファイルを示す図である。

【0061】図14(A)と14(B)によれば、入力光77は、反射膜122と124の間で多重反射を起こす。この例では、反射膜124は、略100%の反射率を有し、反射膜122は、95%の一定の反射率を有していると仮定することができる。反射膜122と124の間の多重反射によって、入力光77は、VIPA76の中で弱くなっていく。従って、VIPA76によって生成された光束は、図14(B)に示されるように、反射膜122の面に沿って、弱くなっていく。従って、光束の光ファイバへの結合効率はそのほど高くない。この問題を解決するため、反射膜122の反射率を変化させることが可能である。

【0062】例えば、図15(A)は、本発明の別の実施形態に従った、VIPA76の動作を示し、図15(B)は、本発明の一実施形態に従った、図15(A)のVIPAのビームプロファイルを示す図である。

【0063】図15(A)によると、例えば、反射膜124は略100%の反射率を有していると仮定することができる。更に、反射膜122の反射率は、例えば、得られた光束のビームプロファイルが、図15(B)に記載された略ベル状曲線のような略対称なビームプロファイルを有するように、変化させる。例えば、反射膜122の反射率は、反射膜122の入力光77の最初の入射位置180において、反射膜122を介して、光のごく一部のみが透過するように、反射膜122の多重反射された入力光77の最後の入射位置182において反射膜122を介してより多くの光が透過するように、変化させることが可能である。より詳細には、反射膜122の反射率は、好ましくは、最初の入射位置180の近くで高い反射率を（従って、最初の入射位置180において、反射膜122を介してわずかな光が透過できるように）、そして、最後の入射位置182の近くで低い反射率を（従って、最後の入射位置182において、反射膜122を介してより多くの光が透過できるように）有するように変化させる。

【0064】例えば、反射膜122は、最初の入射位置180において、略99%あるいはそれ以上の反射率を有し、最後の入射位置182において、略80%の反射率まで減少する。しかし、本発明は、この反射率の範囲に限定されるものではない。反射膜122を、最初の入射位置180から最後の入射位置182に向かって反射率が連続的に変化するように設計することが可能であ

る。

【0065】従って、入力光77が反射膜122と124の間で複数回反射されるうち、入力光77の反射膜122上の光入射位置は、最初の入射位置180から最後の入射位置182に向かって移動する。反射率は反射膜122に沿って、最初の入射位置180から最後の入射位置にかけて減少し、得られた光束が、反射膜122に沿って略対称なビームプロファイルを有するようになる。このようなビームプロファイルは図15(B)に示されている。

【0066】本発明の一実施形態に従って、図16(A)は、反射膜122の反射率曲線(r)と透過率曲線(t)の例を示すグラフであり、図16(B)は、対応するパワー反射曲線(R)とパワー透過曲線(T)を示すグラフである。ここで、一般に、 $T = t^2$

$R = r^2$  (パワーは振幅の2乗)

$T + R = 1$

である。

【0067】tが線形なら、 $t = kx$ である。ここでkは定数である。そして、 $T = k^2 x^2$  (放物線)、 $R = 1 - k^2 x^2$  (放物線)、及び、 $r = \sqrt{1 - k^2 x^2}$  (楕円)である。

【0068】従って、図16(A)及び16(B)を参照して、反射膜122が図16(A)の反射率曲線(r)に示されるような反射率を有しており、図16(A)の透過率曲線(t)に示されるように、反射膜122の面に沿って、振幅透過率が線形に変化すると仮定する。すると、パワーは、振幅の2乗であるから、上記式に示されるように、図16(B)のパワー透過率曲線(T)は放物線型となる。パワー反射率は、1引くパワー透過率であるので、図16(A)のパワー反射率曲線(R)のように、同じく放物線型となる。パワー反射率曲線(R)を使用することにより、出力ビームは光ファイバにほとんど完全に結合するが、一定の反射率のVIPAでは、20%のロスあるいは80%の結合効率しか有しない。

【0069】透過率曲線(t)に示されているような、振幅透過率の線形的な変化によれば、出力ビームプロファイルは完全に対称ではなく、略対称的である。しかし、この実際的な設計は、非常に高い性能を与える。もちろん、より洗練された設計により、完全に対称な出力、あるいは、完全にガウシアン型を得ることができる。しかし、このような設計の複雑な反射率曲線は実用的ではない。

【0070】反射率は、反射膜122に沿って変化するが、反射膜122による反射の間の光位相は、好ましくは、一定に保たれている方がよい。図17は、本発明の一実施形態に従った、反射される間光位相を実質的に一定、すなわち、均一に保つ、位相調節バッファレイヤ1

84を有するVIPAを示す図である。位相調節バッファレイヤ184は、好ましくは、反射膜122と124の間に、反射膜122に隣接して、あるいは、その上に配置される。位相調節バッファレイヤ184の厚さは、表面に沿って変化し、位相調節バッファレイヤ184を介して透過される光の光位相を変化させ、反射膜122における反射を通しての光位相の変化を打ち消す。

【0071】位相調節バッファレイヤ184は、反射光の位相を変化させる好適な実施形態を表す。しかし、本発明は、この特別な実施形態に限定するものではなく、反射光の位相を変化させるために他の構成も使用可能である。

【0072】更に、反射膜122を介して透過される光における光位相は、好ましくは、一定に保たれるべきである。図18は、本発明の一実施形態に従った、反射膜122を介して透過される光の光位相を実質的に一定に、すなわち、均一に保つ位相調節バッファレイヤ186を有するVIPAを示す図である。位相調節バッファレイヤ186は、好ましくは、反射膜122に沿って、反射膜124とは反対側に配置される。位相調節バッファレイヤ186の厚さは、表面に沿って変化し、反射膜122を介して導出された位相変化を打ち消す。

【0073】位相調整バッファレイヤ186は、透過光の位相を変化させる好適な実施形態を表している。しかし、本発明は、この特別な実施形態に限定されるものではなく、透過光の位相を変化させるために他の構成も使用可能である。

【0074】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは第1と第2の反射面(図15(A)のそれぞれ反射膜124と122等)を有している。第2の面は、入射する光の一部を透過させるような反射率を有している。VIPAは、波長の連続範囲内のそれぞれの波長の入力光を受光する。第1と第2の面は入力光が、第1と第2の面の間で複数回反射され、複数の光が第2の面を介して透過されるように配置される。複数の透過光は、互いに干渉し、波長の連続範囲内の他のいかなる波長の入力光に対して生成された出力光と空間的に区別可能な出力光(図6の光束82aあるいは82bのような)を生成する。第2の面の反射率は、第2の面に沿って変化し、出力光は、第2の面に沿って所望のビームプロファイルを有する(例えば、図15(A)の反射膜122と図15(B)のビームプロファイルを参照)。位相調節バッファレイヤは第2の面から第1の面に向かって反射される光に均一な光位相を与えるために設けても良い。更に、位相調節レイヤは、透過光に均一な光位相を与えるために設けることも可能である。

【0075】本発明の上記実施形態によれば、VIPAの表面の反射率は、所望のビームプロファイルを得るために変化される。本発明の上記実施形態の様々な形態において、所望のビームプロファイルは、対称であるとし

て記載している。しかし、例えば、非対称や双こぶ形状のプロファイルのような異なったビームプロファイルが要求される状況もあり得る。従って、反射率は、対称なビームプロファイルを得るためのみに限定されるものではない。むしろ、反射率は、例えば、対称な、非対称な、ガウシアン型の、略ベル状曲線の、あるいは、双こぶ形状のビームプロファイルのような多くの異なったタイプの所望のビームプロファイルを得るように設計することが可能である。双こぶ形状のビームプロファイルは、例えば、1997年2月21日出願のU. S. 出願08/802,768「受光光の光学的場の分布あるいは、受光導波路の伝搬モードの光学的場の分布が双こぶ形状である光部品」に開示されており、ここに参照文献として記載する。

【0076】鏡などの反射装置と組み合わせたVIPAを含む装置を色分散を生成するために使用することが可能である。例えば、図19～23は、VIPAを色分散を生成するための角分散部として使用する装置を示した図である。このような装置は、1997年2月7日出願のU. S. 出願08/796,842「色分散を生成するためにバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイを使用する光装置」及び、1997年8月13日出願、U. S. 出願08/910,251「色分散を生成するためにバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイを使用する光装置」により詳細に開示されており、ここに参照文献として記載する。

【0077】例えば、図19を参照すると、VIPA240は、例えば、略100%の反射率を有する第1の面242と、例えば、略98%の反射率を有する第2の面244とを有している。VIPA240は、また、照射ウィンドウ247を備えている。しかし、VIPA240は、この特別な構成に限定するものではない。むしろ、VIPA240は、ここに記載するように、多くの異なった構成を取りうる。

【0078】図19に示されているように、光は、ファイバ246から出力され、コリメートレンズ248によってコリメートされ、円筒レンズ250によって照射ウィンドウ247を介してVIPA240内に線集光される。VIPA240は、それから、収束レンズ252によって鏡254上に収束されるコリメート光251を生成する。鏡254は、基板258上に形成された鏡部256でよい。

【0079】鏡254は、光を収束レンズ252を介してVIPA240内に反射・返送する。光は、それから、VIPA240内で多重反射を起こし、照射ウィンドウ247から出力される。照射ウィンドウ247から出力される光は、円筒レンズ250とコリメートレンズ248を通して進み、ファイバ246によって受光される。

【0080】従って、光は、VIPA240から出力さ

れ、鏡254によって反射されて、VIPA240に戻る。鏡254によって反射される光は、最初に進んできたパスとは正確に反対方向のパスを進む。以下により詳細に分かるように、光の異なる波長成分は、鏡254の異なる位置に集光され、VIPA240に反射・返送される。結果として、異なる波長成分は、異なる距離を進み、従って、色分散を生成する。

【0081】図20は、本発明の一実施形態に従った、図19のVIPAの動作をより詳細に示す図である。様々な波長成分を有する光がVIPA240によって受光されるとする。図20に示されたように、VIPA240は、ビームウエスト262の虚像260を形成させ、各虚像260は、光を放つ。

【0082】図20に示されているように、収束レンズ252は、VIPA240からのコリメート光の異なる波長成分を鏡254の異なる点に収束する。より詳しくは、長い波長264は、点272に収束され、中心波長266は、点270に収束され、短い波長268は点274に収束される。そして、長い波長264は、中心波長266と比べて、ビームウエスト262により近い虚像260に返送される。短い波長268は、中心波長266と比べて、ビームウエスト262からより遠い虚像260に返送される。従って、この配列では、正常分散を与える。

【0083】鏡254は、特定の干渉次数の光のみを反射するように設計され、他のいかなる干渉次数の光も鏡254の外に収束される。より詳しくは、前述したように、VIPAは、コリメート光を出力する。このコリメート光は虚像からのパスが $m$ を整数として、差 $m\lambda$ を有する方向に進む。干渉の $m$ 次は、 $m$ に対応する出力光として定義される。

【0084】例えば、図21は、VIPAの干渉の様々な次数を示す図である。図21によれば、VIPA240のようなVIPAは、コリメート光276、278、280を放つ。各コリメート光276、278、280は、異なる干渉次数に対応する。従って、例えば、 $n$ を整数として、コリメート光276は、 $(n+2)$ 次の干渉次数に対応するコリメート光であり、コリメート光278は、 $(n+1)$ 次の干渉次数に対応するコリメート光であり、コリメート光280は、 $n$ 次の干渉次数に対応するコリメート光である。コリメート光276は、いくつかの波長成分276a、276b、及び276cを有するとして図示されている。同様に、コリメート光278は、波長成分278a、278b、及び278cを持つとして図示され、コリメート光280は、波長成分280a、280b、及び280cを持つとして図示されている。ここで、波長成分276a、278a、及び280aは、同じ波長を持っている。波長成分276b、278b、及び280bは同じ波長（しかし、波長成分276a、278a、及び280aの波長とは異なる

る)を有している。波長成分276c、278c、及び280cは、同じ波長(しかし、波長成分276a、278a、及び280aの波長、及び、波長成分276b、278b、及び280bの波長とは異なる)を有している。図21は、3つの異なる干渉次数のコリメート光のみを図示しているが、コリメート光は多くの他の干渉次数についても放たれる。

【0085】異なる干渉次数の同じ波長のコリメート光は異なる方向に進み、従って、異なる位置に収束されるので、鏡254は、VIPA240へ単一の干渉次数からの光のみを反射・返送するようにすることができる。例えば、図21に図示されているように、鏡254の反射部の長さを比較的に短くして、単一の干渉次数に対応する光のみを反射するようにすべきである。より詳細には、図21において、コリメート光278のみが鏡254によって反射される。このように、コリメート光276と278は鏡254の外に収束される。

【0086】波長分割多重光は、通常、多くのチャネルを含んでいる。図19をもう一度参照すると、VIPA240の第1と第2の面242と244の間の厚さtが特定の値に設定されると、この構成で、各チャネルの分散を同時に補償することが可能となる。

【0087】より詳細には、各チャネルは中心波長を有している。これらの波長は通常、一定の周波数間隔によって隔離されている。第1と第2の面242と244の間のVIPA240の厚さtは、中心波長に対応する波長成分の全てがVIPA240からの同じ出力角度を、従って、鏡254上の同じ収束点を有するように設定されるべきである。これは、厚さtを、各チャネルに対し、中心波長に対応する波長成分が進む、VIPA240を通った往復の光路長が各チャネルの中心波長の整数倍となるように設定する。この厚さtの量を以下、「WDMマッチングフリースペクトル範囲厚さ」あるいは「WDMマッチングFSR厚さ」と呼ぶ。

【0088】更に、この場合、VIPA240を通った往復の光路長( $2nt\cos\theta$ )は、同じ $\theta$ で、異なる整数に対し、各チャネルの中心波長に対応する波長を整数倍したものに等しい。ここで、nは第1と第2の面242と244の間の部材の屈折率、 $\theta$ は、各チャネルの中心波長に対応する光束の伝搬方向を示す。より詳細には、前述したように、 $\theta$ は、反射面122と124の面に垂直な線から計った、得られた光束の伝搬方向を示す。

【0089】従って、tが、各チャネルの中心波長に対応する波長成分に対し、 $2nt\cos\theta$ が、同じ $\theta$ で異なる整数に対し、各チャネルの中心波長の整数倍であるように設定されているならば、中心波長に対応する波長成分の全ては、VIPA240からの同じ出力角度、従って、鏡254の同じ収束位置を有する。

【0090】例えば、往復2mmの物理的長さ(これ

は、VIPA240の厚さ1mmの略2倍)で、屈折率1.5であれば、100GHz間隔の全ての波長がこの条件を満たすことができる。結果として、VIPA240は、同時に、波長分割多重光の全てのチャネルの分散を補償することができる。

【0091】従って、図20を参照すると、厚さtをWDMマッチングFSR厚さに設定すると、VIPA240と収束レンズ252は、(a)各チャネルの中心波長に対応する波長成分が鏡254上の点270に収束され、(b)各チャネルの長い波長成分に対応する波長成分が鏡254上の点272に収束され、(c)各チャネルの短い波長成分に対応する波長成分が鏡254の点274に収束されるようにすることができる。従って、VIPA240は、波長分割多重光の全てのチャネルの色分散を補償するのに使用することができる。

【0092】図22は、本発明の実施形態に従った、厚さtをWDMマッチングFSR厚さに設定した場合の波長分割多重光の数チャネルの分散量を示すグラフである。図22に示されるように、全てのチャネルは同じ分散を有している。しかし、分散はチャネル間で連続していない。更に、VIPA240が分散を補償する各チャネルに対する波長範囲を鏡254のサイズを適当に設定することによって設定することができる。

【0093】厚さtがWDMマッチングFSR厚さに設定されていない場合には、波長分割多重光の異なるチャネルを鏡254の異なる点に収束する。例えば、厚さtが、往復の光路長厚さの $1/2$ 、 $1/3$ 、あるいは、他の分数である場合には、2、3、4、あるいは、更に多くのチャネルの収束点は、同じ鏡に収束され、各チャネルは、異なる収束点に収束される。より詳細には、厚さtが、WDMマッチングFSR厚さの $1/2$ である場合には、奇数チャネルからの光は、鏡254の同じ点に収束され、偶数チャネルからの光は鏡254の同じ点に収束される。しかし、偶数チャネルからの光は奇数チャネルとは異なる点に収束される。

【0094】例えば、図23は、鏡254の異なる点に収束される異なるチャネルを示す図である。図23に示されているように、偶数チャネルの中心波長の波長成分は鏡254の1点に収束され、奇数チャネルの中心波長の波長成分は異なる点に収束される。結果として、VIPA240は、同時に、波長分割多重光の全てのチャネルの分散を十分に補償することができる。

【0095】図19~23において、ファイバ246は、VIPA240に光を供給する入力ファイバと、VIPA240からの返送光を受光する出力ファイバの両方として機能する。しかし、さまざまな設計においては、入力ファイバは、出力ファイバと別のファイバでもよい。よって、入出力ファイバは互いに空間的に区別される。

【0096】図19~23のVIPA240の第2の面



244は、例えば、略98%の反射率を有するとして記載した。しかし、VIPAは、前述したように、所望のビームプロファイルを生成するように、反射率を変えた面を有するように設計することが可能である。例えば、第2の面244は、装置のロスを最小化する、あるいは、入力ファイバから出力ファイバへの結合効率を最大化する、変化する反射率を有することもできる。例えば、第2の面244は、ファイバ246から、VIPA240へ、鏡254へ、VIPA240に戻って、ファイバ246に戻るトータルのパスに沿って光が進むに従い起こるロスを削減する所望のビームプロファイルを生成するように、変化する反射率を有することが可能である。

【0097】ロスを削減し、最高の結合効率を得るためには、第2の面244は、ガウシアン型あるいは、略ベル状曲線形状を有したビームプロファイルを与えることが好ましい。

【0098】従って、上記したように、VIPAは、所望のビームプロファイルを生成する、変化する反射率を有する反射面を備える。例えば、反射面は、反射面に沿って略対称なビームプロファイル、反射面に沿って略ベル状曲線のビームプロファイル、反射面に沿って略ガウシアン型ビームプロファイル、あるいは、反射面に沿って双こぶ形状のビームプロファイルを有する出力ビームを生成する、変化する反射率を有することができる。このようなビームプロファイル形状は、当業者によれば理解されるであろう。更に、上記記載に基づき、当業者によれば、所望のビームプロファイルを生成する反射面をどのように形成するかが認識されるであろう。

【0099】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、平行板、あるいは、互いに平行な2つの反射面によって形成されるとして記載されている。しかし、板あるいは反射面は必ずしも平行である必要はない。

【0100】本発明の上記実施形態によれば、複数の波長を含む光は、同時に分波される。従って、波長多重通信に使用する受信器のサイズをうまく小さくすることができる。

【0101】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、入力光の各波長に対し波長多重光を同時に分波することができる。更に、分散角は、VIPAを形成する平行板の厚さによって調整することができる。結果として、分散角は、受信器が容易に各分波された信号を受光できるように充分大きくすることができる。例えば、従来の回折格子は、大きな分散角のために、精緻な凹凸面を必要とする。しかし、精緻な凹凸面を用意することは非常に困難で、従って、分散角の大きさを限定する。これに対し、本発明の上記実施形態に従ったVIPAは、比較的大きな分散角を実現するために、平行板の厚さを変化するのみでよい。

【0102】更に、本発明の上記実施形態によるVIP

Aは、従来の回折格子よりも大きな分散角を生成する。従って、本発明の上記実施形態に従ったVIPAを使用する受信器は、ハイレベルの多重処理を実現する波長多重通信においても、間違いなく、光信号を正しく受光することができる。更に、このような受信器は、比較的簡単な構成を有しており、製造するのに比較的安価である。

【0103】本発明の上記実施形態によれば、VIPAは、多重反射を使用し、干渉する光の間の一定の位相差を保持する。結果として、VIPAの特性は安定で、従って、偏波によって生じる光学的特性の変化を少なくする。これに対し、従来の回折格子の光学的特性は、入力光の偏波に依存して望ましくない変化を被る。

【0104】更に、導波路アレイ格子と比較すると、本発明の上記実施形態によるVIPAは比較的簡単な構成で、安定な光学的特性と、環境条件の変化に対する耐性を達成する。

【0105】本発明の上記実施形態においては、VIPAは、光を反射するための反射膜を有している。例えば、図7は、光を反射するために、反射膜122と124を有するVIPA76を示している。しかし、VIPAは反射面を設けるために「膜」を用いることに限定されるものではない。むしろ、VIPAは、単に、適当な反射面を有しているべきであって、これらの反射面は、「膜」として形成されてもされなくても良い。

【0106】更に、本発明の上記実施形態においては、VIPAは、内部で多重反射の起こる透明なガラスの板を含んでいる。例えば、図7は、その上に反射面を有する透明なガラスの板120を有するVIPA76を示している。しかし、VIPAは、反射面を隔離するために、ガラス部材や、いかなるタイプの「板」を使用することに限定するものではない。むしろ、反射面は、単に、互いに隔離されているべきである。例えば、VIPAの反射面は、ガラスの板ではなく、熱膨張の小さいガラスや金属のような部材によって安定して保持される反射面を有し、この間に、単に、「空気」を有していることが可能である。従って、反射面は、例えば、光学ガラスや空気である透明な部材をその間に有するものとして記載可能である。

【0107】本発明のいくつかの好適実施形態を示し、記載したが、当業者によれば、請求項やその均等物で規定される発明の原理や精神から離れることなく、これらの実施形態を変形できることが認識されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の、多層干渉膜を用いたフィルタを示す図である。

【図2】従来の、ファブリ・ペロー干渉計を示す図である。

【図3】従来の、マイケルソン干渉計を示す図である。

【図4】従来の、回折格子を示す図である。

【図5】従来の、波長分割多重光を分波するための導波路アレイ格子を示す図である。

【図6】本発明の一実施形態に従った、バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ (VIPA) を示す図である。

【図7】本発明の一実施形態に従った、図6に図示されたVIPAの詳細を示す図である。

【図8】本発明の実施形態に従った、図6に図示されたVIPAの、線VIII-VIII に沿った断面を示す図である。

【図9】本発明の一実施形態に従った、VIPAによって生成される干渉を示す図である。

【図10】本発明の一実施形態に従った、入力光の傾き角を決定するための、図6に図示されたVIPAの線VIII-VIIIに沿った断面を示す図である。

【図11】本発明の一実施形態に従った、受信器と共に用いられるVIPAを示す図である。

【図12】本発明の別の実施形態に従った、受信器と共に用いられるVIPAを示す図である。

【図13】本発明の一実施形態に従った、導波路型VIPAを示す図である。

【図14】本発明の一実施形態に従った、VIPAの動作とVIPAのビームプロファイルを示す図である。

【図15】本発明の一実施形態に従った、VIPAの動作と図15(A)のVIPAのビームプロファイルを示す図である。

【図16】本発明の一実施形態に従った、VIPAの、反射率曲線(r)と透過率曲線(t)の例を示すグラフと、対応するパワー反射率曲線(R)とパワー透過率曲線(T)を示すグラフである。

【図17】本発明の一実施形態に従った、反射光の光位相を実質的に均一に保つ位相調節バッファレイヤを有するVIPAを示す図である。

【図18】本発明の一実施形態に従った、透過光の光位相を実質的に均一に保つ位相調節バッファレイヤを有するVIPAを示す図である。

【図19】本発明の一実施形態に従った、色分散を生成するための角分散部としてVIPAを用いる装置を示す図である。

【図20】本発明の一実施形態に従った、図19の装置の動作を示す図(その1)である。

【図21】本発明の一実施形態に従った、図19の装置

の動作を示す図(その2)である。

【図22】本発明の一実施形態に従った、図19の装置の動作を示す図(その3)である。

【図23】本発明の一実施形態に従った、図19の装置の動作を示す図(その4)である。

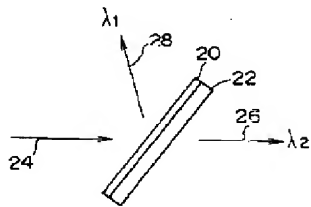
【符号の説明】

76	VIPA
77	入力光
78、110	焦点線
80、114	レンズ
82、112	光束
96、98	反射膜
100	平行板
102	入力光
104	平行光
106	コリメートレンズ
108	円筒レンズ
118	受信器
120	板
122、124	反射膜
102、126	照射ウィンドウ
132	光軸
134	虚像
136、251、276、278、280	コリメート光
140	導波路
142、258	基板
144、250	円筒レンズ
146	焦点線
148、240	VIPA
150、247	照射ウィンドウ
152、154	反射膜
156	平行板
160	レンズ
162	受光導波路
184、186	位相調節バッファレイヤ
246	ファイバ
248	コリメートレンズ
252	収束レンズ
254	鏡
256	鏡部



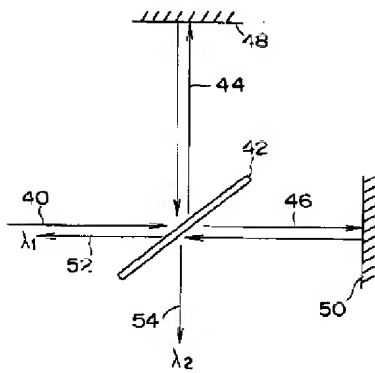
【図1】

従来の多層干渉膜を用いたフィルタを示す図



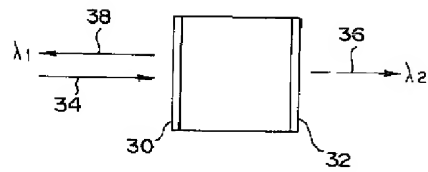
【図3】

従来のマイケルソン干渉計を示す図



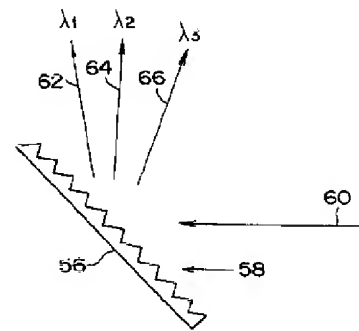
【図2】

従来のマブリ・ペロー干渉計を示す図



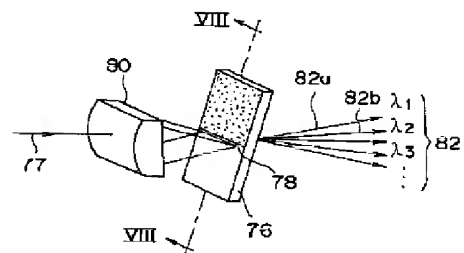
【図4】

従来の回折格子を示す図



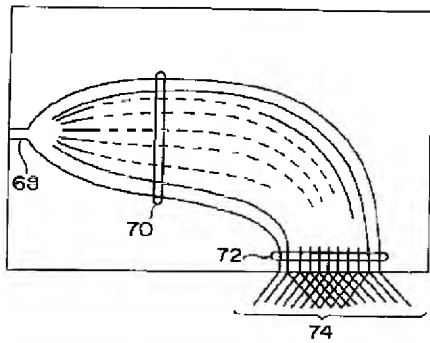
【図6】

本発明の一実施形態に従った、バーチャル・  
イメージ・フェーズ・アレイ(VIPA)を示す図



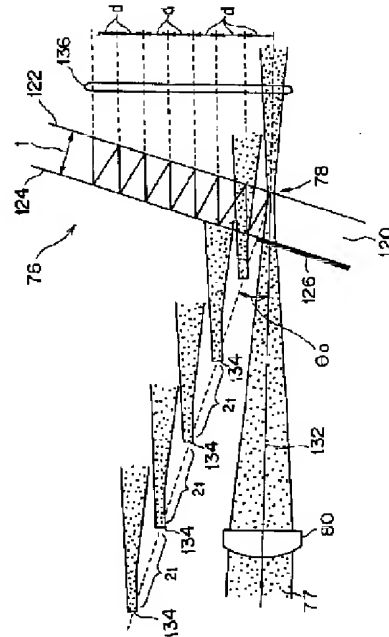
【図5】

従来の波長分割多重光を分波するための  
導波路型アレイ格子を示す図



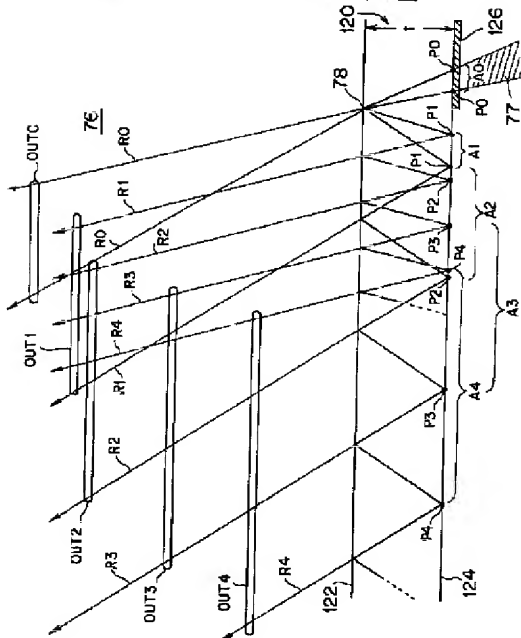
【図7】

本発明の一実施形態に従った、図6に図示された  
VIPAの詳細を示す図



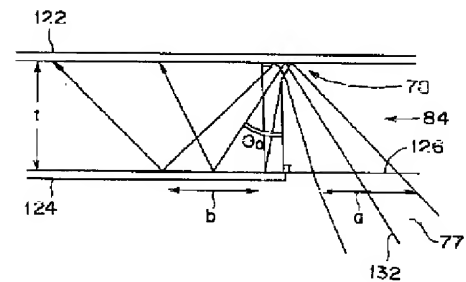
【図8】

本発明の実施形態に従った、図6に図示された  
VIPAの線VIII-VIIIに沿った断面を示す図



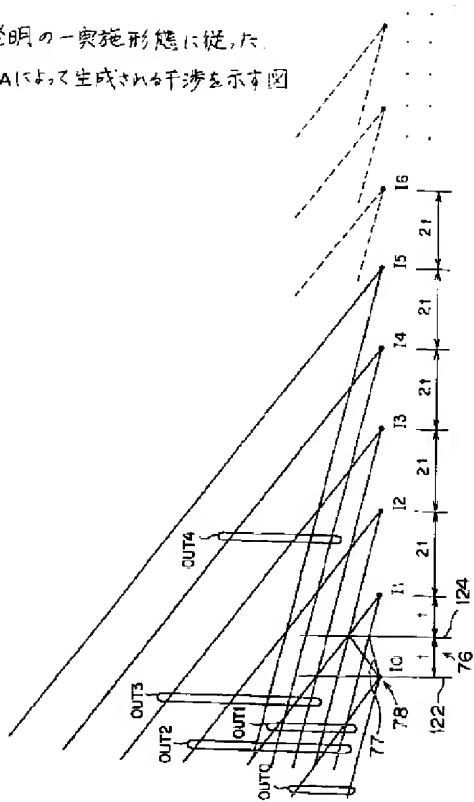
【図10】

本発明の一実施形態に従った、入力光の  
傾き角を決定するための、図6に図示された  
VIPAの線VIII-VIIIに沿った断面を示す図



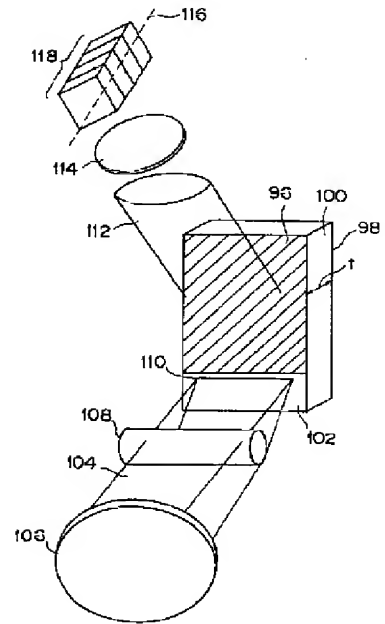
【図9】

本発明の一実施形態に従った、  
VIPAによって生成される干渉を示す図



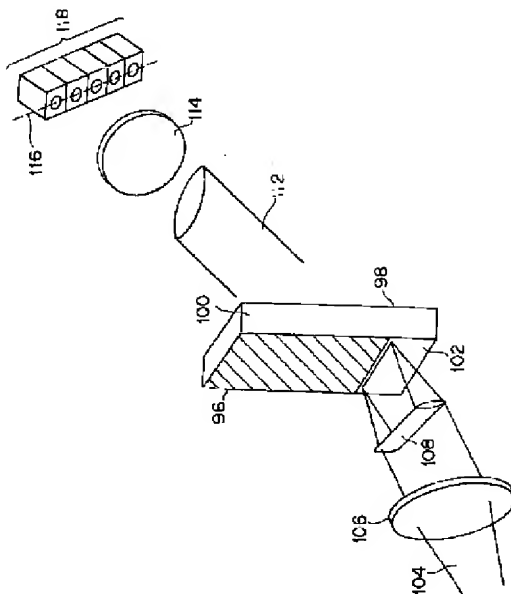
【図11】

本発明の一実施形態に従った、受信器と共に  
用いられるVIPAを示す図



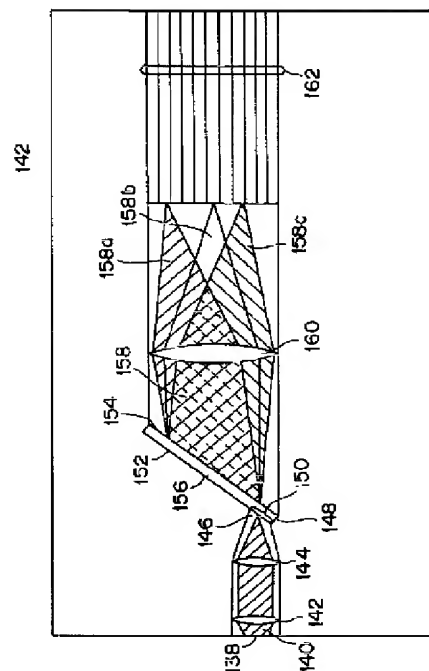
【図12】

本発明の別の実施形態に従った、受信器と共に  
用いられるVIPAを示す図



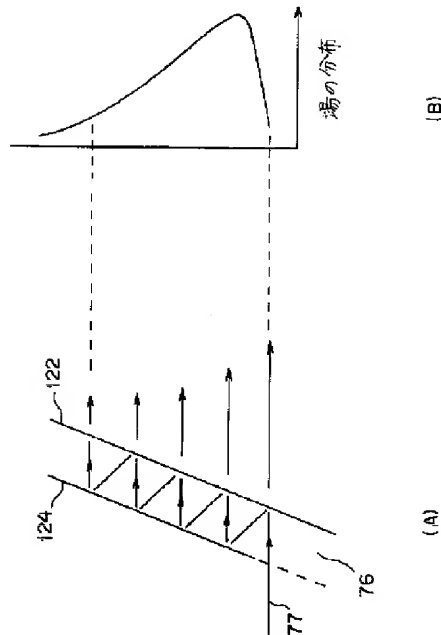
【図13】

本発明の一実施形態に従った、導波路型  
VIPAを示す図



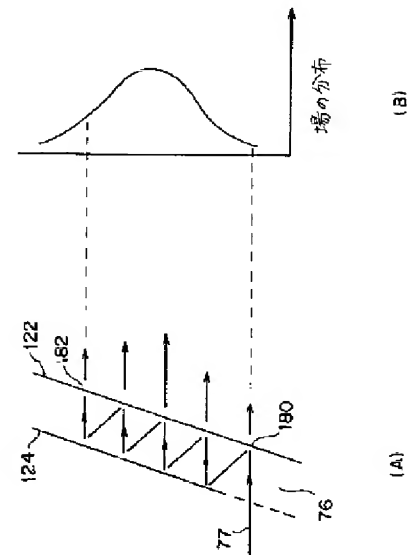
【図14】

本発明の一実施形態に従ったVIPAの動作  
とVIPAのビームプロファイルを示す図



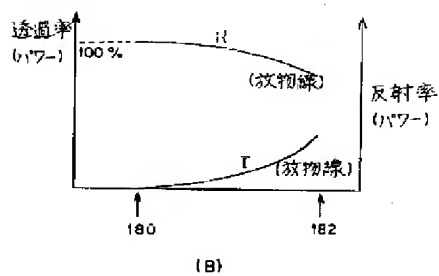
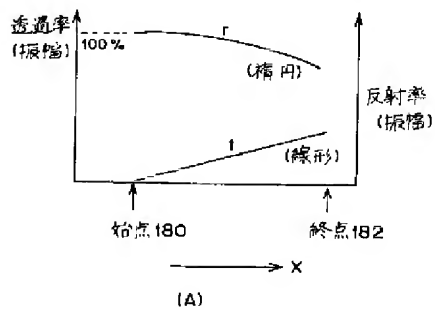
【図15】

本発明の一実施形態に従ったVIPAの動作  
図15(A)のVIPAのビームプロファイルを示す図



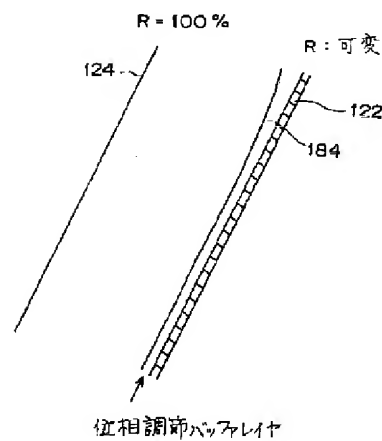
【図16】

本発明の一実施形態に従ったVIPAの反射率  
曲線(R)と透過率曲線(I)の例を示すグラフと対応  
するパワー反射率曲線(R)とパワー透過率曲線(I)を示すグラフ



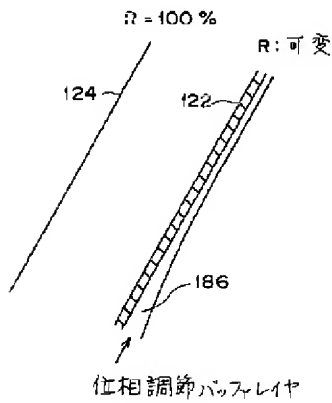
【図17】

本発明の一実施形態に従った、反射光の  
光位相を実質的に均一に保つ位相調節  
バッフェンヤを有するVIPAを示す図



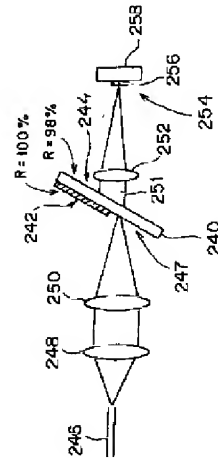
【図18】

本発明の一実施形態に従った、透過光の  
光位相を実質的に均一に保つ位相調節  
パツァレイヤを有するVIPAを示す図



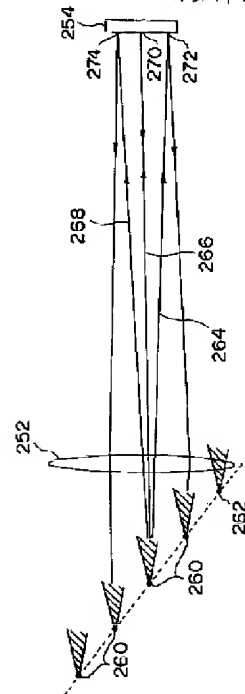
【図19】

本発明の一実施形態に従った、色分散を生成  
するための角分散部としてVIPAを用いる装置を示す図



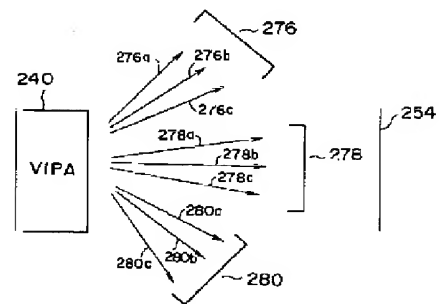
【図20】

本発明の一実施形態に従った、図19の装置  
の動作を示す図(その1)



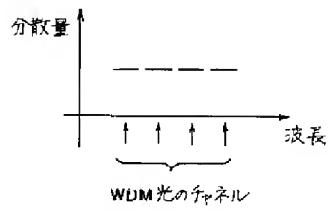
【図21】

本発明の一実施形態に従った、図19の装置  
の動作を示す図(その2)



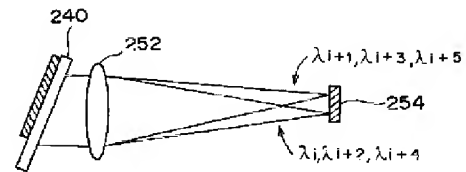
【図22】

本発明の一実施形態に従った、図19の装置の動作を示す図(その3)



【図23】

本発明の一実施形態に従った、図19の装置の動作を示す図(その4)



フロントページの続き

(72)発明者 白▲崎▼ 正孝  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 サイモン カオ  
アメリカ合衆国, 94538 カリフォルニア  
州, フリーモント, アルブラエ ストリー  
ト 42501番地, アバネックス コーポレ  
ーション内